# ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA ENTRE MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NA IMPLANTAÇÃO DE REDES DE ÁGUA

**Arieli Luisa Couto**[)]
Engenheira Civil.
**Ana Luisa Fortes dos Santos**
Engenheira Civil
**Jenifer Vanusa de Lima**
Engenheira Civil

**Endereço:** Av. John Kennedy nº230 - Bairro Morro do Espelho – São Leopoldo – Rio Grande do Sul – CEP 93030-004 – Brasil – Tel. + 55 (51) 99875-9732 - e-mail: arielicouto@gmail.com.

## RESUMO

Este artigo analisa a viabilidade econômico-financeira entre o Método Destrutivo (MD) convencional e o Método Não Destrutivo (MND) para a expansão de redes de saneamento no Brasil. A metodologia fundamentou-se na elaboração de 16 orçamentos baseados no SINAPI (março/2026 - RS), avaliando tubulações de PVC e PEAD em diferentes diâmetros e profundidades de assentamento (1,5 m e 2,0 m) para um trecho padrão de 1,0 km. Os resultados demonstram que, embora a etapa isolada de solda e assentamento mecânico seja até cinco vezes mais onerosa no MND devido à alta tecnologia empregada, o método não destrutivo gerou uma economia líquida global entre 60% e 80% no custo final da obra. Essa vantagem econômica decorre da redução superior a 98% nas despesas com escoramento de valas e movimentação de terra, além de mitigar em mais de 4.300% os custos de repavimentação asfáltica em profundidades de 2,0 metros. O estudo conclui que o PEAD se consolida como o material ideal para o sucesso do MND por sua flexibilidade e conformidade regulatória, posicionando a tecnologia não destrutiva como a escolha mais econômica, célere e sustentável para o saneamento urbano.

**PALAVRAS-CHAVE:** método não destrutivo, saneamento básico, orçamento de obras.

## INTRODUÇÃO

A infraestrutura de saneamento básico constitui um dos pilares determinantes para o desenvolvimento socioeconômico, a saúde pública e a sustentabilidade ambiental de uma nação. No Brasil, contudo, o setor historicamente convive com déficits estruturais severos. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a cobertura de água potável e, de forma mais acentuada, a coleta e o tratamento de esgoto ainda deixam parcelas expressivas da população desassistidas, evidenciando um cenário de desigualdade que demanda investimentos massivos e urgentes. A promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento Básico estabeleceu metas ambiciosas de universalização, estipulando que, até 2033, 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao esgotamento sanitário.

Para que essas metas regulatórias sejam alcançadas, o ritmo de expansão das redes subterrâneas precisa ser drasticamente acelerado. O grande desafio da engenharia moderna, portanto, não reside apenas na captação de recursos financeiros, mas sim na capacidade de executar milhares de quilômetros de novas redes de forma rápida, eficiente e com o menor custo global possível. Tradicionalmente, a implantação de tubulações de água e esgoto em ambientes urbanos apoia-se no Método Destrutivo (MD) convencional, caracterizado pela abertura contínua de valas a céu aberto. Embora seja uma técnica consagrada e de fácil execução de mão de obra, sua aplicação em centros urbanos consolidados gera impactos significativos, que incluem a interrupção do tráfego de veículos, prejuízos ao comércio local, poluição sonora e atmosférica, além da degradação precoce da vida útil dos pavimentos asfálticos devido aos remendos sucessivos.

Diante dessa problemática, os Métodos Não Destrutivos (MND) — com destaque para a Perfuração Horizontal Direcional (Horizontal Directional Drilling - HDD) — surgem como uma alternativa tecnológica estratégica. Ao viabilizar a instalação, substituição ou reabilitação de utilidades subterrâneas a partir de emboques pontuais, com

mínima perturbação da superfície, o MND mitiga os passivos sociais e ambientais das obras civis. No entanto, o mercado de infraestrutura e muitas concessionárias públicas ainda enfrentam barreiras culturais e técnicas para a ampla adoção do método, frequentemente motivadas pelo paradigma de que o custo inicial associado à mobilização de equipamentos especializados e à utilização de tubulações compatíveis com a tecnologia ainda é percebido como mais oneroso quando comparado ao método convencional.

Para desmistificar esse cenário e fornecer subsídios técnicos confiáveis para a tomada de decisão em projetos de engenharia, faz-se necessário realizar análises orçamentárias detalhadas que ponderem não apenas o custo direto dos tubos, mas todo o passivo civil envolvido em cada metodologia, tais como escoramentos, movimentação de terra e repavimentação. Além disso, a escolha do polímero da tubulação — como o Policloreto de Vinila (PVC) e o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) — exerce papel crucial tanto no orçamento inicial quanto na segurança operacional ao longo do ciclo de vida do ativo.

Justificado pela necessidade de quantificar essas variáveis econômicas e regulatórias, o presente artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo da viabilidade econômico-financeira entre o Método Destrutivo e o Método Não Destrutivo. Para tanto, a pesquisa fundamenta-se na elaboração e análise de 16 cenários orçamentários distintos, variando materiais (PVC e PEAD), diâmetros nominais e cotas de profundidade de assentamento, mapeados com base em composições oficiais do SINAPI para o estado do Rio Grande do Sul. Busca-se, com isso, determinar os limites de viabilidade técnica e econômica de cada metodologia e identificar os indicadores de desempenho capazes de subsidiar a tomada de decisão em projetos de expansão de redes de saneamento.

## OBJETIVO

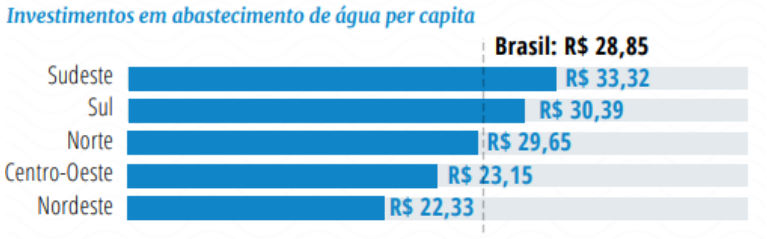
O presente trabalho tem por objetivo avaliar comparativamente a viabilidade técnico-econômica da implantação de redes subterrâneas de saneamento básico por meio do Método Destrutivo (MD), baseado na abertura de valas a céu aberto, e do Método Não Destrutivo (MND), utilizando perfuração horizontal direcionada (HDD), em ambientes urbanos consolidados.

## A PROBLEMÁTICA DO SETOR E O CENÁRIO URBANO

Diante do panorama atual da infraestrutura de saneamento básico no Brasil, evidencia-se a urgência não apenas de sua expansão, mas de um avanço célere e eficiente. Para alcançar as metas de universalização estabelecidas pelas diretrizes regulatórias nacionais, torna-se imprescindível a adoção de soluções de engenharia que otimizem custos, maximizem a produtividade e mitiguem os impactos socioambientais inerentes às obras urbanas.

De acordo com os dados históricos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), referentes ao ano-base de 2020, as redes de abastecimento de água — sejam integradas ou simplificadas — alcançavam cerca de 175,5 milhões de brasileiros, o equivalente a 84,2% da população do país. Esse panorama setorial resultou em um aporte financeiro médio de R$ 28,85 por habitante naquele período específico.

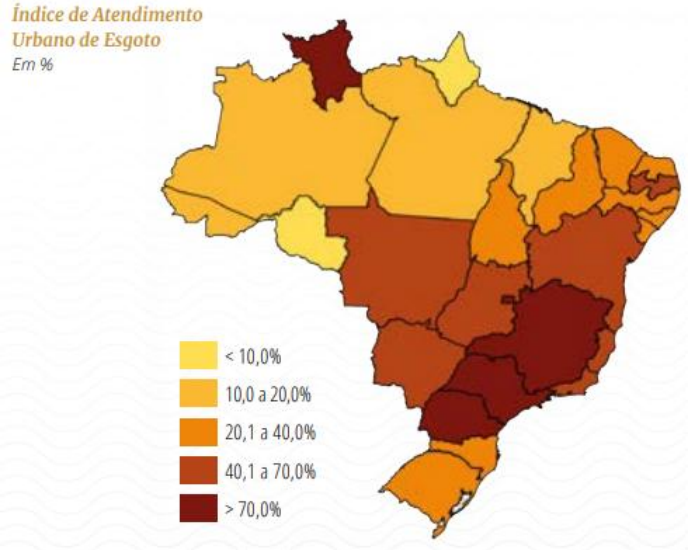
**Figura 1 - Investimento em abastecimento de água per capita em 2020.**




Fonte: Panorama do saneamento básico do Brasil, 2021 – SNIS.

No âmbito do esgotamento sanitário, os indicadores revelam um quadro ainda mais crítico. Dados do SNIS apontam que a malha de coleta nacional somava aproximadamente 362,4 mil quilômetros de extensão, interligando cerca de 39,0 milhões de economias ativas. Essa infraestrutura dava cobertura a apenas 55,0% da população total do país e a 63,2% dos habitantes das áreas urbanas, evidenciando que quase metade dos brasileiros não contava com esse serviço básico.

**Figura 2 - Índice de atendimento urbano de esgoto em % no ano de 2020.**




Fonte: Panorama do saneamento básico do Brasil, 2021 – SNIS.

Fica evidente, portanto, que o déficit na cobertura das redes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário constitui um gargalo estrutural crítico em todo o território nacional. O cumprimento das metas de universalização exigirá a implantação de milhares de quilômetros adicionais de redes subterrâneas, demandando elevados investimentos por parte dos municípios, concessionárias e operadores do setor.

Entretanto, essa expansão ocorre em um contexto urbano cada vez mais complexo. Os centros urbanos contemporâneos apresentam elevada densidade de infraestruturas enterradas, concentrando em um mesmo corredor viário redes de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem pluvial, telecomunicações, energia e distribuição de gás. Segundo McDonald (2008), a crescente ocupação do espaço subterrâneo e a necessidade contínua de implantação, ampliação, manutenção e reabilitação dessas infraestruturas tornam as intervenções sobre o sistema viário cada vez mais frequentes. De forma complementar, Schmitt (2015) destaca que a coexistência de múltiplas concessionárias e serviços públicos no subsolo urbano representa um dos principais desafios para a gestão da infraestrutura das cidades, uma vez que diferentes redes possuem ciclos de expansão, manutenção e substituição independentes, resultando em intervenções recorrentes ao longo do tempo.

Nesse cenário, observa-se que a maior parte das obras de implantação de redes de saneamento ainda é executada por meio do Método Destrutivo (MD), caracterizado pela abertura contínua de valas, escavação do solo e posterior recomposição da superfície. Embora amplamente difundida e tecnicamente consolidada, essa metodologia pode gerar custos significativos associados ao escoramento de valas, movimentação de solos, transporte de materiais e recomposição de pavimentos, especialmente em áreas urbanas consolidadas e com elevada densidade de interferências subterrâneas.

Além dos custos diretamente mensuráveis, devem ser considerados os impactos indiretos frequentemente não incorporados às análises orçamentárias convencionais, tais como restrições à mobilidade urbana, interferências nas atividades econômicas locais, degradação prematura dos pavimentos e demais transtornos decorrentes da repetição de intervenções sobre a infraestrutura viária. Dessa forma, a escolha do método construtivo deixa de representar apenas uma decisão operacional e passa a influenciar diretamente o custo global de implantação das redes e a capacidade de expansão dos sistemas de saneamento.

Nesse contexto, os Métodos Não Destrutivos (MND) surgem como uma alternativa tecnológica capaz de viabilizar a instalação, substituição ou reabilitação de tubulações subterrâneas com mínima perturbação superficial. Torna-se, portanto, pertinente avaliar em que medida a redução das intervenções superficiais pode resultar em ganhos econômicos efetivos quando comparada ao método convencional, contribuindo para a ampliação da produtividade dos investimentos e para o atendimento das metas de universalização do saneamento básico.

## METODOLOGIA E PREMISSAS ORÇAMENTÁRIAS

Para responder aos objetivos propostos e garantir a replicabilidade deste estudo, adotou-se uma abordagem metodológica quantitativa e comparativa, fundamentada na modelagem de cenários práticos de engenharia de custos. A pesquisa estruturou-se a partir do levantamento bibliográfico de normas técnicas nacionais e da elaboração de uma matriz com 16 cenários orçamentários analíticos. Esses cenários foram calibrados com base em tabelas oficiais de referência e índices de produtividade consolidados para o estado do Rio Grande do Sul, permitindo correlacionar variáveis físicas — como profundidade, diâmetro e materiais poliméricos — com o custo global de implantação de redes de saneamento.

**Diretrizes gerais e base de dados**
Para a composição dos custos, adotou-se como referência prioritária o SINAPI (Sistema Nacional de Informação de Custos e Índices da Construção Civil), gerido pela Caixa Econômica Federal e pelo IBGE.
Data-base: março de 2026.
Abrangência geográfica: Estado do Rio Grande do Sul.
Escopo de análise: extensão padrão de 1,0 km (1.000 metros) de rede instalada para cada cenário.
As simulações abrangeram tubulações de Policloreto de Vinila (PVC) e Polietileno de Alta Densidade (PEAD), conforme as seguintes especificações geométricas:
Redes em PVC: diâmetros nominais de 100 mm e 150 mm, avaliados nas profundidades de 1,5 m e 2,0 m.
Redes em PEAD: diâmetros externos de 110 mm e 160 mm, avaliados nas profundidades de 1,5 m e 2,0 m.

As profundidades de assentamento de 1,5 m e 2,0 m foram selecionadas por representarem configurações frequentemente observadas em obras urbanas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além de influenciarem diretamente os custos associados à escavação, ao escoramento de valas e à movimentação de materiais.

**Parâmetros de produtividade e cronograma**
Os índices de produtividade adotados neste estudo foram arbitrados com base em médias históricas de desempenho executivo, buscando refletir um cenário operacional intermediário. Importa salientar que as taxas adotadas não representam as condições de máxima e nem de mínima produtividade encontradas em campo, mas sim um patamar ponderado e realista de mercado.

Sob condições climáticas favoráveis — considerando um horizonte mensal de 16 dias efetivamente trabalhados (dias úteis sem ocorrência de precipitação) —, estabeleceram-se as seguintes premissas:

- Método Destrutivo (MD): Fixou-se o rendimento médio diário de 50 metros para redes assentadas a 1,5 m de profundidade e de 40 metros para a cota de 2,0 m, índices aplicados indistintamente a ambos os materiais (PVC e PEAD).
- Método Não Destrutivo (MND): Adotou-se o rendimento linear constante de 100 metros por dia, independentemente do diâmetro nominal, do tipo de material polimérico ou da profundidade avaliada.

Nota técnica e calibração de extremos: A definição desses coeficientes visa conferir equilíbrio e neutralidade à modelagem orçamentária. No caso do Método Destrutivo (MD), intervenções em vias com baixo índice de interferências subterrâneas e tráfego reduzido permitem avanços diários substancialmente superiores aos modelados. Da mesma forma, os índices para o MND foram definidos de maneira conservadora para fins de calibração do modelo. Em cenários reais caracterizados por solos de alta trabalhabilidade e completamente livres de matacões ou rochas, equipes operando equipamentos de perfuração horizontal direcional (*Horizontal Directional Drilling* - HDD) conseguem atingir facilmente taxas de avanço superiores a 200 metros diários. Em contrapartida, malhas urbanas de elevada complexidade ou solos altamente impeditivos reduziriam os índices de ambos os métodos, justificando a adoção deste patamar médio referencial.

**Geometria das escavações e interferência no pavimento**
O estudo previu a remoção e a posterior recomposição integral do pavimento asfáltico ao longo das intervenções, variando o impacto superficial de acordo com o método empregado. As dimensões geométricas das escavações foram estipuladas com base na experiência e no conhecimento técnico de execução de obras de infraestrutura subterrânea, visando garantir a adoção de tamanhos de valas compatíveis com os padrões usualmente praticados em canteiros de obras urbanos.

Salienta-se, como premissa física da engenharia de solo, que o incremento na profundidade de assentamento das tubulações exige, consequentemente, a ampliação na largura das valas para assegurar a estabilidade das paredes escavadas e permitir o manuseio seguro dos operários e equipamentos. Sob essas diretrizes, os cenários foram modelados da seguinte forma:

- No Método Destrutivo (MD): Projetou-se a abertura de valas contínuas ao longo de toda a extensão da rede (1,0 km). A largura da vala foi definida em 0,8 m para a profundidade de 1,5 m e ampliada para 1,2 m quando adotada a profundidade de 2,0 m.
- No Método Não Destrutivo (MND): Previu-se a abertura pontual de apenas 5 valas de emboque/recepção por quilômetro. As dimensões destas cavas foram estipuladas em 2,0 m x 1,5 m para as redes posicionadas a 1,5 m de profundidade e redimensionadas para 2,5 m x 1,5 m para o cenário com profundidade de 2,0 m.

**Recomposição da camada de rolamento**
Visando aproximar o modelo da prática de engenharia — onde as bordas do pavimento sofrem desplacamento e exigem cortes complementares para a compactação adequada —, acrescentou-se uma margem de segurança de 40% sobre a área geométrica teórica das valas (tanto para MD quanto para MND) na etapa de recapeamento asfáltico.

**Movimentação de terra**
Adotou-se a premissa restritiva de descarte total do material escavado. Portanto, não foi considerado o reaproveitamento do solo local, prevendo-se bota-fora do material nativo e preenchimento integral com solo de empréstimo comercializado.

Tal premissa foi adotada com o objetivo de uniformizar os cenários analisados e evitar distorções decorrentes das características geotécnicas locais, permitindo que a comparação entre os métodos permanecesse concentrada nas diferenças inerentes aos processos construtivos.

**Alocação de custos diretos e práticas de campo**
Com o intuito de conferir aderência prática à pesquisa, as composições de custos foram refinadas com base na experiência empírica de canteiro de obras, indo além das simplificações usuais encontradas em editais de licitação genéricos. Foram inseridos custos operacionais logísticos e de pessoal técnico diretamente vinculados à produção, como por exemplo:

Logística de Soldagem (PEAD): Incorporou-se ao custo direto do PEAD a necessidade de um veículo utilitário exclusivo dotado de reboque. Essa premissa fundamenta-se na dinâmica de campo, onde a equipe de solda por termofusão ou eletrofusão necessita de mobilidade ágil e independente para transportar equipamentos robustos ao longo do trecho.

Mão de Obra Técnica Especializada: Em conformidade com as exigências contratuais de grandes concessionárias que demandam profissionais de nível Pleno ou Sênior na liderança das frentes de serviço, o custo do Engenheiro Residente foi alocado diretamente na planilha de Custos Diretos da obra, e não diluído na taxa de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). Essa prática evita a subestimação do custo real de gerenciamento do empreendimento.

**Ciclo de vida, segurança operacional e escolha dos polímeros**
No presente trabalho, optou-se por apresentar as diferentes formas de execução nos dois materiais, PVC e PEAD, pois atualmente muitas concessionárias nacionais têm exigido a aplicabilidade do PVC por razões estritamente econômicas. No entanto, a técnica de execução do PVC por MND enfrenta restrições normativas severas; a ABNT NBR 17004, que rege a instalação de tubulações subterrâneas por furo direcional guiado, não abrange a execução em PVC.

Como prática empírica de campo, é possível executar o MND utilizando tubulações de PVC com juntas travadas mecânicas. Todavia, este não é o material recomendado pelo histórico de engenharia, pois exige um nível de controle operacional drasticamente superior durante as forças de puxada da perfuratriz. Sobretudo em redes pressurizadas (como adutoras), o PVC apresenta maior probabilidade de sofrer microfissuras estruturais ou falhas de estanqueidade que se manifestam durante o teste hidrostático pós-obra.

Um planejamento de saneamento inteligente não deve medir apenas o custo imediato do tubo posicionado na vala (CAPEX), mas sim a segurança do ativo operacional ao longo de todo o seu ciclo de vida (OPEX). Tanto a

tubulação quanto as conexões em PEAD possuem custos de fabricação substancialmente superiores aos do PVC, gerando um custo inicial de materiais mais elevado na planilha orçamentária do projeto.

Apesar de ambos os polímeros oferecerem vida útil projetada superior a 50 anos quando corretamente especificados e instalados, apresentam comportamentos distintos sob a ótica operacional. O PEAD destaca-se pela elevada flexibilidade mecânica e pela continuidade estrutural proporcionada pelas juntas soldadas por termofusão, formando sistemas monolíticos com elevada estanqueidade. Além dos benefícios relacionados à resistência mecânica e ao desempenho hidráulico, a inexistência de juntas mecânicas e a necessidade de equipamentos especializados para intervenções na rede contribuem para maior controle operacional e dificultam alterações não autorizadas ao longo da vida útil do sistema.

Dessa forma, embora o PVC apresente vantagens econômicas sob a perspectiva do investimento inicial — detendo o menor custo de implantação direta nas etapas de solda e assentamento —, a decisão técnica deve considerar a confiabilidade operacional, o controle de perdas comerciais, a estanqueidade, a segurança mecânica e a resiliência do ativo ao longo de seu ciclo de vida, aspectos nos quais o PEAD recupera sua atratividade e justifica o investimento.

**Limitações do estudo**

Como limitação metodológica, ressalta-se que os cenários simulados foram desenvolvidos considerando condições operacionais padronizadas, produtividades médias de referência e ausência de interferências geotécnicas excepcionais, tais como presença de rocha, matacões, lençol freático elevado ou restrições específicas de tráfego. Dessa forma, os resultados obtidos devem ser interpretados como cenários comparativos destinados à avaliação da influência relativa das variáveis analisadas sobre o custo global de implantação das redes, não substituindo estudos executivos específicos para cada empreendimento.

## RESULTADOS

Após a consolidação das planilhas orçamentárias baseadas nas composições do SINAPI e nos ajustes operacionais de campo, os custos totais obtidos para a execução de 1,0 km de rede foram normalizados por metro (R$/m) para permitir a comparação direta entre os cenários. Os resultados globais estão sintetizados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resultados globais**

| Material | Diâmetro / Prof. | Valor MD (R$/m) | Valor MND (R$/m) |
|---|---|---|---|
| PVC | 100 mm \| 1,5m | R$ 3.038,67 | R$ 994,33 |
| | 100 mm \| 2,0m | R$ 5.174,36 | R$ 1.024,92 |
| | 150 mm \| 1,5m | R$ 3.148,03 | R$ 1.124,90 |
| | 150 mm \| 2,0m | R$5.283,72 | R$ 1.155,48 |
| PEAD | 110 mm \| 1,5m | R$ 3.173,95 | R$ 1.136,00 |
| | 110 mm \| 2,0m | R$ 5.331,26 | R$ 1.116,58 |
| | 160 mm \| 1,5m | R$ 3.451,61 | R$ 1.397,29 |
| | 160 mm \| 2,0m | R$ 5.606,73 | R$ 1.427,87 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

A análise dos resultados demonstra que a eficiência executiva do Método Não Destrutivo (MND) supera a do método convencional em uma escala de economia global que varia de 60% a 80%. Para redes com profundidade média de 1,50 m, o tempo de execução por vala a céu aberto é, no mínimo, o dobro do exigido pelo MND. Essa discrepância amplia-se sensivelmente com o aumento da profundidade da vala. Ao reduzir o tempo total de execução, itens de custo fixo como manutenção do canteiro de obras, locação de equipamentos auxiliares e permanência de equipes de campo são diluídos em uma metragem de rede substancialmente maior. Essa aceleração produtiva reduz drasticamente o período de exposição da obra, impactando diretamente na mitigação de custos sociais e operacionais intangíveis.

Para compreender os fatores que geraram a expressiva vantagem financeira do MND, as seções seguintes decompõem os principais elementos de custo das planilhas: escoramento, movimentação de solos, pavimentação e a etapa isolada de solda/assentamento.

**Análise do impacto do escoramento de valas**

A profundidade da rede é um dos fatores de maior peso para a viabilidade do MND, independentemente do polímero utilizado (PVC ou PEAD). De acordo com as diretrizes de segurança da ABNT NBR 12266 (Projeto e execução de valas para assentamento de tubulações) e as normativas da NR-18, em escavações com profundidades superiores a 1,25 m torna-se obrigatória a aplicação de estruturas de escoramento para a proteção dos trabalhadores contra desmoronamentos. Como a cota de assentamento de redes de saneamento frequentemente ultrapassa essa marca protetiva, o custo de implantar escoramento contínuo ao longo de uma extensão de 1,0 km no método destrutivo torna-se proibitivo, enquanto o MND restringe essa necessidade apenas às 5 valas de emboque. A Tabela 2 quantifica o impacto desse insumo no custo total da obra.

**Tabela 2 - Valores referentes ao escoramento de vala**

| Material | Diâmetro / Prof. | Valor MD (R$/m) | Valor MND (R$/m) |
|---|---|---|---|
| PVC | 100 mm \| 1,5m | R$ 363.015,00 | R$ 3.448,64 |
| | 100 mm \| 2,0m | R$ 645.740,00 | R$ 12.914,80 |
| | 150 mm \| 1,5m | R$ 363.015,00 | R$ 3.448,64 |
| | 150 mm \| 2,0m | R$ 645.740,00 | R$ 12.914,80 |
| PEAD | 110 mm \| 1,5m | R$ 363.015,00 | R$ 3.448,64 |
| | 110 mm \| 2,0m | R$ 645.740,00 | R$ 12.914,80 |
| | 160 mm \| 1,5m | R$ 363.015,00 | R$ 3.448,64 |
| | 160 mm \| 2,0m | R$ 645.740,00 | R$ 12.914,80 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

Os dados evidenciam que o confinamento da área escavada promovido pelo MND reduz o custo de escoramento em mais de 98%, blindando o orçamento da obra contra a escalada de preços associada ao aumento da profundidade.

**Impacto da movimentação de solos e resíduos**

A necessidade de abertura de valas robustas e contínuas no Método Destrutivo (MD) gera severos impactos financeiros associados às etapas de escavação mecânica, carga, transporte, bota-fora de material nativo e posterior reaterro com material comercial devidamente compactado. Na modelagem orçamentária adotada (sem reaproveitamento de solo local), o valor despendido com a movimentação de terra no MD superou o valor total de aquisição das próprias tubulações, conforme exposto na Tabela 3.

**Tabela 3 - Valores referentes a movimentação de solos e resíduos**

| Material | Diâmetro / Prof. | Valor MD (R$/m) | Valor MND (R$/m) |
|---|---|---|---|
| PVC | 100 mm \| 1,5m | R$ 775.982,25 | R$ 14.549,67 |
| | 100 mm \| 2,0m | R$ 1.544.308,50 | R$ 24.129,82 |
| | 150 mm \| 1,5m | R$ 775.982,25 | R$ 14.549,67 |
| | 150 mm \| 2,0m | R$ 1.544.308,50 | R$ 24.129,82 |
| PEAD | 110 mm \| 1,5m | R$ 775.982,25 | R$ 14.549,67 |
| | 110 mm \| 2,0m | R$ 1.544.308,50 | R$ 24.129,82 |
| | 160 mm \| 1,5m | R$ 775.982,25 | R$ 14.549,67 |
| | 160 mm \| 2,0m | R$ 1.544.308,50 | R$ 24.129,82 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

O corte subterrâneo guiado por MND mitiga a necessidade de movimentação de terra e descarte de resíduos na mesma proporção em que reduz a área escavada, gerando economias que ultrapassam R$ 1,5 milhão nos cenários de maior profundidade.

**Análise dos custos de remoção e repavimentação asfáltica**

O processo de rasgar continuamente as vias urbanas impõe um custo de restauração pesada da camada de rolamento. A área de interferência superficial contínua do MD exige volumes elevados de fresagem, demolição, aplicação de sub-base e recomposição de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). Conforme os resultados da Tabela 4, a discrepância de valores entre os métodos atinge patamares superiores a 4.300 % em profundidades de 2,0 m.

**Tabela 4 - Valores referentes à remoção e repavimentação asfáltica**

| Material | Diâmetro / Prof. | Valor MD (R$/m) | Valor MND (R$/m) |
|---|---|---|---|
| PVC | 100 mm \| 1,5m | R$ 1.026.913,64 | R$ 32.719,79 |
| | 100 mm \| 2,0m | R$ 1.858.797,30 | R$ 42.452,00 |
| | 150 mm \| 1,5m | R$ 1.026.913,64 | R$ 32.719,79 |
| | 150 mm \| 2,0m | R$ 1.858.797,30 | R$ 42.452,00 |
| PEAD | 110 mm \| 1,5m | R$ 1.026.913,64 | R$ 32.719,79 |
| | 110 mm \| 2,0m | R$ 1.858.797,30 | R$ 42.452,00 |
| | 160 mm \| 1,5m | R$ 1.026.913,64 | R$ 32.719,79 |
| | 160 mm \| 2,0m | R$ 1.858.797,30 | R$ 42.452,00 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

Estes índices confirmam que, em vias asfaltadas de alto padrão ou corredores comerciais consolidados, o custo de recomposição do pavimento no MD isoladamente inviabiliza a técnica frente ao MND.

**A inversão da curva de custos: solda e assentamento**

Apesar da ampla vantagem financeira global do MND observada nas seções anteriores, isolou-se a etapa específica de Solda e Assentamento (incluindo a aquisição direta de tubulações, conexões especiais e mão de obra operacional de montagem). Nesta etapa, conforme detalhado na Tabela 5, identifica-se uma inversão completa na curva de custos.

**Tabela 5 - Valores referentes ao assentamento e solda da tubulação**

| Material | Diâmetro / Prof. | Valor MD (R$/m) | Valor MND (R$/m) |
|---|---|---|---|
| PVC | 100 mm \| 1,5m | R$ 117.817,85 | R$ 577.197,09 |
| | 100 mm \| 2,0m | R$ 118.786,60 | R$ 577.197,09 |
| | 150 mm \| 1,5m | R$ 208.194,77 | R$ 700.084,67 |
| | 150 mm \| 2,0m | R$ 221.713,56 | R$ 700.084,67 |
| PEAD | 110 mm \| 1,5m | R$ 245.143,99 | R$ 710.527,27 |
| | 110 mm \| 2,0m | R$ 255.209,61 | R$ 710.527,27 |
| | 160 mm \| 1,5m | R$ 506.464,66 | R$ 956.448,62 |
| | 160 mm \| 2,0m | R$ 525.724,32 | R$ 956.448,62 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

O custo intrínseco da atividade técnica de perfuração e soldagem no MND chega a ser até cinco vezes superior ao do método destrutivo. Essa elevação decorre da necessidade de equipamentos especializados de alta tecnologia (perfuratrizes HDD), fluidos de perfuração e equipes altamente treinadas. No entanto, observa-se historicamente que o custo de implantação de redes por MND tem diminuído de forma consistente nos últimos anos devido à expansão da frota de equipamentos e à consolidação do mercado nacional.

**Consolidação e indicadores de eficiência econômica**

Ao cruzar a elevação do custo técnico da solda/furo com a eliminação quase integral das despesas civis acessórias (escoramento, pavimentação e solo), obtém-se o balanço real da eficiência econômica do método não destrutivo. A Tabela 6 consolida o percentual líquido de economia gerado pela substituição do MD pelo MND em cada um dos 16 cenários orçados.

**Tabela 6 - Percentual de economia ao aplicar o MND em comparação ao MD**

| Material | Diâmetro / Prof. | Percentual de economia aplicando o MND |
|---|---|---|
| **PVC** | 100 mm \| 1,5m | 67% |
| | 100 mm \| 2,0m | 80% |
| | 150 mm \| 1,5m | 64% |
| | 150 mm \| 2,0m | 78% |
| **PEAD** | 110 mm \| 1,5m | 64% |
| | 110 mm \| 2,0m | 78% |
| | 160 mm \| 1,5m | 60% |
| | 160 mm \| 2,0m | 75% |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos orçamentos desenvolvidos.

Os resultados consolidados revelam a viabilidade econômica absoluta do MND nos cenários estudados. Embora a tecnologia de furo direcional possua um custo operacional de instalação isolado significativamente maior, a eliminação do passivo civil reverte o balanço financeiro final de forma drástica. O resultado prático é uma solução de engenharia avançada cujo custo final consolidado representa apenas uma fração (de 20% a 40%) do valor exigido pelo método destrutivo convencional.

Dessa forma, conclui-se que a aplicabilidade do Método Destrutivo (MD) tradicional restringe-se a cenários muito específicos e limitados: locais desprovidos de pavimentação (vias de terra ou implantações em frentes novas de expansão urbana), trechos onde a repavimentação integral já esteja prevista no plano plurianual de metas do município de forma independente à obra de saneamento, e situações em que a profundidade da rede não ultrapasse a marca de 1,25 m, dispensando legalmente a aplicação de escoramentos de vala. Fora destas condições específicas, o Método Não Destrutivo consolida-se não apenas como uma alternativa de mitigação de impactos sociais, mas como a escolha prioritária para a otimização econômica de projetos de engenharia de infraestrutura urbana.

**Consolidação e indicadores de eficiência econômica**

Visando garantir a total transparência, o rigor metodológico e a rastreabilidade dos dados que fundamentam esta pesquisa, disponibiliza-se abaixo um QR Code para o acesso e o *download* da íntegra dos 16 cenários orçamentários simulados, estruturados tanto em formato PDF quanto em planilhas editáveis do Excel. Nestes documentos de suporte, o leitor poderá auditar analiticamente a discriminação de cada item e código do SINAPI empregado, além de verificar se a respectiva composição analítica de preços foi extraída diretamente da base oficial, se adveio de cotações mercadológicas específicas ou se foi balizada por parâmetros contratuais públicos vigentes, permitindo uma auditoria completa das premissas econômicas adotadas.

**Figura 3 – QR code para acesso aos 16 orçamentos elaborados**

Fonte: elaboração própria.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A expansão e a modernização da infraestrutura de saneamento básico no Brasil, sob a égide das metas de universalização, impõem à engenharia nacional o desafio de executar obras com celeridade, eficiência e viabilidade econômica. Diante desse cenário, este artigo cumpre o objetivo de confrontar empiricamente o paradigma de que as tecnologias subterrâneas de menor impacto possuem custos proibitivos, demonstrando que os Métodos Não Destrutivos (MND) configuram-se como a solução mais vantajosa para a realidade da maioria das intervenções urbanas densas.

A análise quantitativa fundamentada na elaboração dos 16 orçamentos calibrados para a realidade prática do estado do Rio Grande do Sul revelou uma viabilidade financeira absoluta do MND. Embora a etapa isolada de soldagem e assentamento (furo e tubulação) por MND se mostre até cinco vezes mais onerosa devido à alta especialização de equipamentos e equipes, o balanço global inverte-se drasticamente ao computar os custos civis associados. Ao restringir as escavações a emboques pontuais, o MND reduziu os custos de escoramento de valas (obrigatórios em profundidades superiores a 1,25 m conforme a NBR 12266 e NR-18) e de movimentação de solos em patamares superiores a 98%. Ademais, mitigou os custos de recomposição de pavimentos asfálticos em mais de 4.300% nas simulações a 2,0 metros de profundidade, resultando em uma economia líquida final entre 60% e 80% por metro linear de rede instalada em relação ao Método Destrutivo (MD) convencional.

O estudo também evidenciou que a tomada de decisão técnica não deve se limitar ao menor CAPEX imediato na compra de tubulações, mas sim considerar a segurança e a resiliência do ativo ao longo do seu ciclo de vida. Nesse aspecto, enquanto o PVC apresenta apelo econômico na aquisição e menor custo de montagem manual, sua aplicação por MND carece de respaldo normativo (visto que a NBR 17004 não abrange o PVC para o furo direcional guiado) e eleva os riscos de falhas estruturais em testes hidrostáticos. O Polietileno de Alta Densidade (PEAD), em função de sua flexibilidade mecânica, resistência aos esforços de instalação e continuidade estrutural proporcionada pelas juntas soldadas por termofusão, consolidou-se como o material tecnicamente mais indicado para aplicações em perfuração horizontal direcionada. Além dos benefícios operacionais, a natureza monolítica das conexões dificulta intervenções não autorizadas e contribui para maior segurança operacional e controle de perdas ao longo da vida útil da rede.

Em suma, conclui-se que a utilização do método destrutivo tradicional com valas a céu aberto apresenta maior viabilidade em cenários específicos, como vias não pavimentadas ou intervenções com profundidades inferiores a 1,25 m, nas quais as exigências de escoramento são reduzidas ou inexistentes. Nos demais cenários analisados, especialmente em áreas urbanas pavimentadas e com maiores profundidades de assentamento, o Método Não Destrutivo demonstrou superioridade econômica ao eliminar grande parte dos custos associados ao escoramento de valas, movimentação de solos e recomposição do pavimento. Além das economias diretas quantificadas neste estudo, o MND contribui para a mitigação de custos indiretos e intangíveis frequentemente não incorporados às planilhas orçamentárias, tais como impactos à mobilidade urbana, paralisações ou perdas de atividade comercial, degradação precoce dos pavimentos, emissões associadas à movimentação de materiais e demais transtornos socioambientais decorrentes das intervenções convencionais. Dessa forma, o MND consolida-se como uma alternativa tecnicamente robusta, economicamente vantajosa e estrategicamente alinhada aos desafios da universalização do saneamento em ambientes urbanos consolidados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana.* Rio de Janeiro: ABNT, 1992

2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17004: Método não destrutivo (MND) de perfuração direcional horizontal (mini-HDD) — Requisitos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2023. [Nota: norma cancelada pela ABNT após publicação; não havia substituta vigente na data de elaboração deste artigo. A referência é mantida pois é a base normativa citada no artigo.]

3. SCHMITT, G. Gestão do espaço subterrâneo urbano: diretrizes para compatibilização das redes de infraestrutura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

4. BRASIL. *Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007.* Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Presidência da República, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 10 abr. 2026.

5. BRASIL. *Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020.* Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 10 abr. 2026.

6. BRASIL. *Decreto n. 7.983, de 8 de abril de 2013.* Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia contratados e executados com recursos dos

orçamentos da União. Brasília: Presidência da República, 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d7983.htm. Acesso em: 12 abr. 2026.

7. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos — 2020.* Brasília: MDR/SNSA, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento/snis. Acesso em: 10 abr. 2026.

8. BRASIL. Ministério das Cidades. *SINISA — Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico: panorama dos serviços de água e esgoto 2024.* Brasília: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento/snis. Acesso em: 10 abr. 2026.

9. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *SINAPI — Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: tabelas de composições analíticas e insumos — Rio Grande do Sul, março de 2026.* Brasília:

10. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *SINAPI: Metodologias e Conceitos.* 11. ed. Brasília: CAIXA, 2026. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-metodologia/Livro_SINAPI_Metodologias_Conceitos.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

11. CAIXA/IBGE, 2026. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi. Acesso em: 15 mar. 2026.

12. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).* Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html. Acesso em: 20 mar. 2026.

13. INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. *Ranking do Saneamento 2024 (base SNIS 2022).* São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Relatorio-Completo-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf. Acesso em: 10 abr. 2026.

14. MCDONALD, J. A. Métodos não destrutivos para reabilitação de tubulações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

15. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *NR-18: Segurança e saúde no trabalho na indústria da construção.* Portaria MTE n. 836, de 13 de maio de 2026. Brasília: MTE, 2022 (com alterações até 2026). Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-18-nr-18. Acesso em: 10 abr. 2026.

16. Performance Assessment of On-Grade Horizontal Directional Drilling. Journal Of Construction Engineering And Management, 2012.

17. SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Critérios para levantamento de custos diretos em obras de perfuração direcional horizontal (HDD).* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. *Anais [...].* Rio de Janeiro: ABES, 2015. p. 1–10.

18. SCHMITT, G. Gestão do espaço subterrâneo urbano: diretrizes para compatibilização das redes de infraestrutura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

19. TRATAMENTO DE ÁGUA. *Comparativos de métodos não destrutivos por perfuração horizontal direcional (HDD) e Pipe Bursting para sistemas de infraestrutura hidráulica com vala a céu aberto.* Revista Tratamento de Água, São Paulo, 25 fev. 2019. Disponível em: https://tratamentodeagua.com.br/artigo/metodos-nao-destrutivos-perfuracao-horizontal-direcional/. Acesso em: 10 abr. 2026.